

## رسوب‌شناسی، محیط‌های رسوبی و ژئوشیمی آلی در بخش جنوبی حوضه خزر جنوبی

رضا بهبهانی<sup>۱\*</sup>، افشین کریم‌خانی<sup>۲</sup> و غلامرضا حسین‌یار<sup>۳</sup>

۱ و ۲-۳- مدیریت زمین‌شناسی دریایی، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران

نویسنده مسئول: rezabehbahani30@yahoo.com

دریافت: ۹۵/۵/۱۸ پذیرش: ۹۵/۸/۲۲

### چکیده

به منظور بررسی رسوب‌شناسی، محیط‌های رسوبی و ژئوشیمی آلی در بخش جنوبی حوضه خزر جنوبی، تعداد ۱۲۴ نمونه رسوب سطحی (نواحی کم‌ژرفا تا ژرف) با نمونه‌گیر فکی برداشت شده و از نظر کربن آلی کل و  $S_2$  (پیرولیز راک-اول)، محتوی زیستی (موجودات آشفته کننده)، اندازه ذرات و کانی‌شناسی تحت آنالیز قرار گرفتند. بر پایه داده‌های لرزه‌ای کم‌ژرفا و مشاهدات میدانی، محیط‌های دلتا، سکوی قاره، شیب قاره و دشت حوضه شناسایی گردیدند. ذرات تشکیل‌دهنده این ناحیه به سه گروه آواری (کوارتز، خرده‌سنگ کربناته و غیر کربناته، فلدسپات، مسکویت و کانی‌های رسی اسمکتیت، کائولینیت، ایلیت و کلریت)، آلی-زیستی (پوسته موجوداتی نظیر دوکفه‌ای، استراکود و گاستروپود) و قطعات غیر اسکلتی (پلوتیدهای آهکی گلی) تقسیم شده است. چندین شاخص نظیر میزان کربن آلی کل، نوع مواد آلی و محتوی زیستی نشان‌دهنده شرایط متفاوت اکسیدان (رسوبات سکو و شیب قاره) و فقیر از اکسیژن (رسوبات ژرف دشت حوضه) می‌باشد. رسوبات فقیر از اکسیژن، غنی از مواد آلی نوع II و حاوی کربن آلی کل بیش از ۱ درصد وزنی می‌باشند، در حالی که رسوبات مناطق اکسیدان، غنی از پوسته موجودات ساکن در بین رسوبات (نظیر گاستروپودا و استراکودا)، حاوی مواد آلی نوع III و کربن آلی کل کم‌تر از ۱ درصد وزنی می‌باشند. این موارد نشان‌دهنده حفظ بهتر مواد آلی در مناطق ژرف‌تر (دشت حوضه) می‌باشد. مواد آلی نوع III نشان‌دهنده ورود مواد آلی خشکی‌زی (قاره‌ای) به رسوبات سکو و شیب قاره می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: ژئوشیمی آلی، محیط رسوبی، کربن آلی کل، مواد آلی قاره‌ای، حوضه خزر جنوبی

### مقدمه

می‌گیرند. آب دریا ندرتا تهی از اکسیژن محلول است، در حالی که در بسیاری از دریاچه‌ها در اثر چینه‌بندی حرارتی در فصل تابستان شرایط احیایی پدید می‌آید. فقدان اکسیژن محلول نرخ تجزیه و انواع مواد آلی را تحت تاثیر قرار می‌دهد. به علت تفاوت در میزان تولید مواد آلی و نرخ رسوب‌گذاری، رسوبات دریاچه‌ها معمولا دارای مواد آلی بیش‌تری نسبت به رسوبات دریایی ژرف هستند [۲۲ و ۲۳]. در این مطالعه سعی شده است که با بررسی متغیرهای پیرولیز راک-اول در رسوبات بستر بخش جنوبی حوضه خزر جنوبی به نوع مواد آلی تشکیل شده و پراکنندگی مواد آلی پرداخته شود. از آنجا که ویژگی‌های رسوب‌شناختی ذرات رسوبی بستر نقش مهمی در جذب و پراکنش ماده آلی دارند، به طور مختصر به بررسی وضعیت رسوب‌شناسی آن‌ها نیز پرداخته شده است. در ضمن با استفاده از داده‌های لرزه‌ای کم‌ژرفا، محیط‌های رسوبی منطقه مورد مطالعه شناسایی گردیدند. گفتنی است که استفاده از روش پیرولیز راک-اول برای بررسی

مواد آلی می‌تواند جزئی از رسوبات دریاچه‌ای و دریایی باشد. این مواد نقش مهمی در شناسایی و بازسازی محیط‌های دیرینه قاره‌ای و دریاچه‌ای دارند. مقادیر و انواع مواد آلی موجود در رسوبات، شرایط محیطی را در زمان‌های گذشته منعکس می‌کند [۲۳]. مهم‌ترین منشا مواد آلی رسوبات دریاچه‌ها و اقیانوس‌ها، فیتوپلانکتون-های موجود در زون نورگیر می‌باشند. هم‌چنین گیاهان خشک‌زی و مواد آلی جانوری (دارای اهمیت کم‌تر نسبت به گیاهان خشک‌زی) نیز نقش مهمی را در تامین مواد آلی بسیاری از دریاچه‌ها و رسوبات دریایی نزدیک به دهانه رودخانه‌ها ایفا می‌کنند [۲۲ و ۲۳]. نقش چرخه‌های مجدد مواد مغذی (مخلوط شدگی قائم) در بازگرداندن مواد مغذی محلول به زون عبور نور بسیار مهم می‌باشد. ایجاد چرخه‌های مواد مغذی به دلیل وجود چینه‌بندی چگالی در بخش‌های ژرف دریاچه‌ها محدود به زمان و مکان‌های معینی می‌شود [۲۲]. تولیدات مواد آلی دریاچه‌ها به‌وسیله تغییرات محیطی نیز تحت تاثیر قرار

زمینی استان‌های گیلان، مازندران و گلستان و راه‌های آبی جنوب دریای خزر امکان‌پذیر می‌باشد (شکل ۱الف).

### توزیع اکسیژن محلول و جریان عمومی آب در حوضه خزر جنوبی

توزیع اکسیژن در مناطق کم‌ژرفای خزر جنوبی نسبت به بخش‌های ژرف آن متفاوت است [۳۲]. تا ژرفای ۱۰۰ متری آب، غلظت اکسیژن تابع تغییرات فصلی است. در فصل بهار به علت وقوع فرایند شدید فتوسنتز، غلظت اکسیژن محلول در آب‌های سطحی خزر جنوبی به میزان حداکثر خود (۷/۲ تا ۷/۷ میلی‌لیتر/لیتر) می‌رسد. این غلظت در فصل‌های زمستان و تابستان در آب‌های سطحی به ترتیب به ۷-۷/۵ و ۶-۶/۵ میلی‌لیتر/لیتر می‌رسد هم‌چنین در ژرفای ۱۰۰ متری آب بخش جنوبی دریای خزر این غلظت به ترتیب در فصل‌های زمستان و تابستان به ۴/۶-۵ و ۴/۲-۵ میلی‌لیتر/لیتر می‌رسد [۳۲]. در لایه ۲۰۰ تا ۶۰۰ متری ستون آب میانگین سالانه میزان اکسیژن محلول با افزایش ژرفا از ۴ تا ۲/۵ میلی‌لیتر/لیتر کاهش می‌یابد. بنابراین میزان اکسیژن محلول سطحی و ژرف در آب‌های خزر جنوبی در فصل بهار به بیشینه مقدار و در فصل تابستان به کم‌ترین مقدار خود می‌رسد [۳۲].

جریان عمومی آب در خزر جنوبی متشکل از یک سیستم دو قطبی شامل یک ژایر چرخنده<sup>۱</sup> (سیستم بزرگ چرخشی جریان دریایی در جهت خلاف عقربه‌های ساعت در نیم‌کره شمالی) در جنوب خاوری و ژایر واچرخنده<sup>۲</sup> شمال باختری آن، جریان‌های ایجاد شده توسط باد<sup>۳</sup> در آب‌های سطحی مناطق کم‌ژرفا و جریان ترموهالین می‌باشد [۳۳]. سرعت جریان در مرکز این ژایرها تا ژرفای ۱۰۰ متری آب بین ۰/۰۵ تا ۰/۱۰ متر بر ثانیه می‌باشد. در مناطق ژرف‌تر، سرعت جریان‌ها به حدود ۰/۰۵ متر بر ثانیه کاهش می‌یابد [۳۳].

### مواد و روش‌ها

در این پژوهش ۸۷ نمونه رسوب سطحی از ژرفای آب بیش از ۳۰ متر و ۳۷ نمونه رسوب سطحی از نواحی کم ژرفا (ژرفای آب کم‌تر از ۳۰ متر) از بستر دریای خزر

ژئوشیمی آلی رسوبات دریایی و دریاچه‌ای (رسوبات فاقد رسیدگی حرارتی و تدفین لازم) توسط برخی از پژوهشگران گزارش شده است [۳، ۶، ۷، ۱۹، ۲۸ و ۳۰]. حوضه خزر جنوبی یک حوضه ژرف با پوسته اقیانوسی در بخش جنوبی دریای خزر است. اغلب محققین وجود چنین پوسته اقیانوسی را به یک حوضه پشت قوسی مزوزوئیک تا پالئوژن نسبت می‌دهند [۸]. رسوب‌گذاری در حوضه خزر جنوبی از ژوراسیک میانی-پسین آغاز شده است. رسوبات کرتاسه در بخش خاوری حوضه مشاهده شده است [۸]. ضخامت رسوبات مزوزوئیک پرکننده حوضه خزر جنوبی تا ۵ کیلومتر و ضخامت رسوبات پلیو-کواترنری تا بیش از ۱۰ کیلومتر تخمین زده شده است [۲۴].

### موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

دریای خزر با ۳۸۶/۰۰۰ کیلومتر مربع وسعت و حدود ۷۷/۰۰۰ کیلومتر مکعب حجم آب، بزرگ‌ترین دریاچه جهان محسوب می‌شود [۲]. حوضه آبریز این دریاچه به عنوان یکی از مهم‌ترین حوضه‌های فلات ایران است و حجم وسیعی از آب‌ها از دامنه‌های رشته کوه‌های البرز در شمال ایران و کوه‌های آذربایجان به آن سرازیر می‌شود. طول خط ساحلی آن حدود ۴۳۷۰ کیلومتر (۶۹۵ کیلومتر در روسیه، ۶۰۰ کیلومتر در آذربایجان، ۸۲۰ کیلومتر در ایران، ۶۵۰ کیلومتر در ترکمنستان و ۱۶۰۰ کیلومتر در قزاقستان) تخمین زده می‌شود [۱]. این دریاچه از اطراف به وسیله رشته کوه‌های طالش، البرز، قفقاز، زمین‌های پست پریکاسپین، ترکمنستان باختری و زمین‌های پست کورا احاطه می‌شود [۸]. در این میان بخش جنوبی خزر با مساحتی بالغ بر ۱۶۸/۰۰۰ کیلومتر مربع در قسمت جنوبی خط حد فاصل مفروض بین دماغه کوالی و جزیره آپشرون واقع شده است که تا ساحل شمالی ایران امتداد دارد و کشورمان در منتهی الیه بخش جنوبی دریا واقع شده است [۲۰ و ۲۱].

منطقه مورد مطالعه در نواحی جنوبی دریای خزر و حاشیه شمالی استان‌های گیلان، مازندران و گلستان واقع شده است. منطقه مورد مطالعه در حد فاصل عرض‌های شمالی ۳۶ درجه و ۵۰ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۱۰ دقیقه و طول‌های خاوری ۴۹ درجه و ۰۸ دقیقه تا ۵۳ درجه واقع شده است. دسترسی به این مناطق از طریق راه‌های

<sup>1</sup> Cyclonic gyre

<sup>2</sup> Anticyclonic gyre

<sup>3</sup> Wind-induced currents

۷۰۰ متر برای تفکیک محیط‌های رسوبی سکوی قاره (ژرفای آب تا ۲۰۰ متر)، شیب (بین ۲۰۰ تا ۷۰۰ متر) و محیط دشت حوضه<sup>۱۳</sup> (بیش از ۷۰۰ متر) استفاده شده است. لازم به ذکر است که نمونه‌برداری مناطق ژرف توسط کشتی گیلان (متعلق به اداره شیلات استان گیلان) و مناطق کم‌ژرفا توسط قایق در سال‌های ۱۳۸۸ تا ۱۳۸۹ هجری خورشیدی انجام شده است.

### انواع رسوبات و اجزای سازنده آنها

در نواحی کم‌ژرفای خزر جنوبی (ژرفای آب کم‌تر از ۳۰ متر) نهشته‌های بستر به ترتیب فراوانی از رسوبات ماسه‌ای، ماسه گلی با کمی گراول، ماسه با کمی گراول، ماسه گلی، ماسه گلی گراولی، گل ماسه‌ای با کمی گراول، گل با کمی گراول، گل و گل ماسه‌ای تشکیل شده است. ذرات در اندازه گراول آن‌ها بیش‌تر از خرده پوسته<sup>۱۴</sup> (شکل‌های ۲ الف و ب)، پوسته سالم موجودات (نظیر پوسته گاستروپود و دوکفه‌ای) (شکل‌های ۲ ب، ج و ه)، خرده‌سنگ کربناته، خرده‌سنگ غیر کربناته (شکل ۲ الف) و قطعات گیاهی (شکل ۲ ب) تشکیل شده است. ذرات در اندازه ماسه و سیلت این رسوبات از خرده پوسته، پوسته سالم موجودات از قبیل گاستروپود، استراکود و دو کفه‌ای، پلوئید، خرده‌سنگ، کوارتز (شکل‌های ۲ د و ج)، فلدسپات، مسکویت (شکل ۲ د)، کوارتز و قطعات گیاهی تشکیل شده است. کانی‌های رسی (اسمکتیت، کائولینیت، کلریت و ایلیت) از اجزای مهم تشکیل‌دهنده ذرات در اندازه رس این رسوبات می‌باشند (شکل ۳). نهشته‌های سطحی برجای گذاشته شده در ناحیه ژرف (ژرفای آب بیش از ۳۰ متر) خزر جنوبی شامل رسوبات گل، سیلت، گل ماسه‌ای و گل با کمی گراول می‌باشند. ذرات در اندازه گراول آن‌ها بیش‌تر از خرده سنگ آهکی (شکل ۴ ج)، ذرات در اندازه ماسه و سیلت از خرده پوسته، کوارتز و فلدسپات و به مقدار کم‌تر از پوسته موجودات و پلوئید (شکل‌های ۴ الف و ب) و ذرات در اندازه رس نیز از کانی‌های رسی (اسمکتیت، کائولینیت، کلریت و ایلیت) تشکیل شده است.

جهت مطالعات رسوب‌شناسی (بررسی اندازه ذرات، ترکیب کانی‌شناسی و شناسایی اجزای تشکیل‌دهنده) و ۴۸ نمونه رسوب سطحی جهت مطالعات ژئوشیمی آلی در پانزده نیم‌رخ عمود بر ساحل توسط نمونه‌گیر فکی<sup>۴</sup> برداشت گردید (شکل ۱ ب). لازم به ذکر است که به منظور گردآوری نمونه‌های کمتر هوازده، نمونه‌ها پس از برداشت به سرعت در کیسه‌های دو جداره به آزمایشگاه منتقل گردیدند. هم‌چنین به منظور انجام مطالعات رسوب‌شناسی، نمونه‌های برداشت شده توسط دستگاه الک و لرزنده مرطوب (برای ذرات بالای ۶۳ میکرون) مورد آنالیز قرار گرفته‌اند. دانه‌بندی ذرات کوچک‌تر از ۶۳ میکرون توسط دستگاه دانه‌سنج لیزری<sup>۵</sup> مدل (Analysette 21) ساخت شرکت فریتش آلمان و در آزمایشگاه رسوب‌شناسی سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی انجام گردید. برای نام‌گذاری رسوبات از روش فولک<sup>۶</sup> [۱۱] استفاده شده است. به منظور تکمیل مطالعات، در محدوده اندازه‌های ۲ میلی‌متر تا ۱۲۵ میکرون توسط میکروسکوپ الیمپوس<sup>۷</sup> بررسی‌های مورفوسکوپی و مورفومتری انجام پذیرفته است. سنجش میزان پراش اشعه ایکس<sup>۸</sup> برای شناسایی ترکیب کانی‌شناسی ذرات رسوبی مخصوصاً کانی‌های رسی در آزمایشگاه رسوب‌شناسی سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی توسط دیفراکتومتر زیمنس مدل (D5000) (ولتاژ ۴۰ کیلوولت، شدت جریان ۴۰ میلی‌آمپر و لامپ مس) انجام گرفته است. مطالعات ژئوشیمی آلی شامل تعیین درصد کربن آلی کل<sup>۹</sup> و پارامترهای شاخص هیدروژن<sup>۱۰</sup> و S<sub>2</sub> می‌باشد که توسط دستگاه راک - اول تیپ II<sup>۱۱</sup> در پژوهشگاه صنعت نفت انجام شده است. هم‌چنین برای شناسایی محیط رسوبی از اطلاعات لرزه‌ای کم‌ژرفا با تفکیک زیاد<sup>۱۲</sup> (با روش آکوستیک پارامتریک) که توسط گروه ژئوفیزیک دریایی سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی برداشت شده است، استفاده شده است. با توجه به داده‌های لرزه‌ای و اطلاعات ثبت شده از دستگاه ژرفاسنج کشتی تحقیقاتی، ژرفاهای آب ۲۰۰ و

<sup>4</sup> Van veen grab

<sup>5</sup> Laser Particle sizer

<sup>6</sup> Folk

<sup>7</sup> Olympus-SZX-16

<sup>8</sup> XRD

<sup>9</sup> TOC

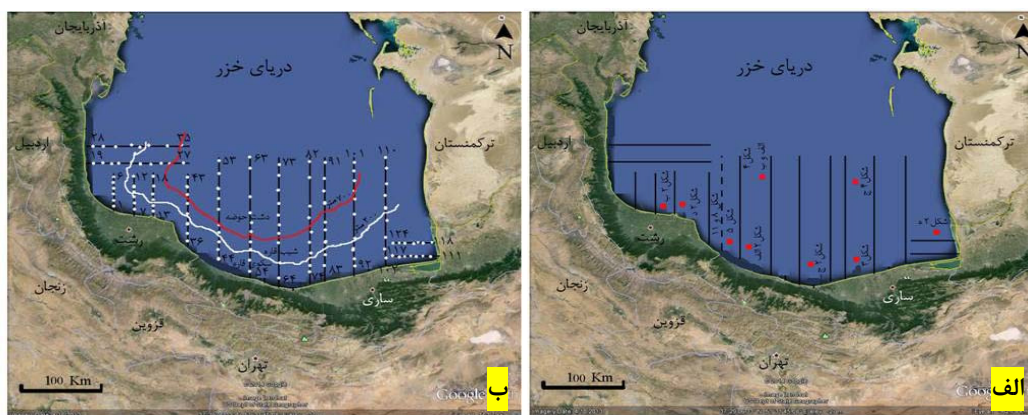
<sup>10</sup> HI

<sup>11</sup> Rock- Eval II+ TOC Moduel

<sup>12</sup> High resolution shallow seismic data

<sup>13</sup> Basin plain

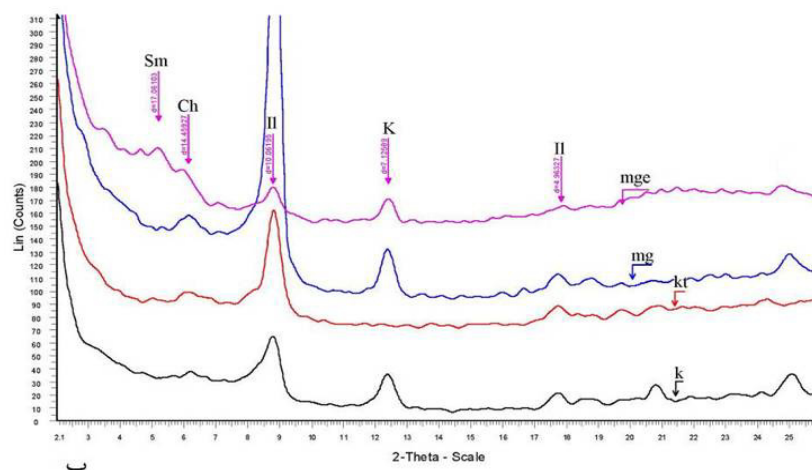
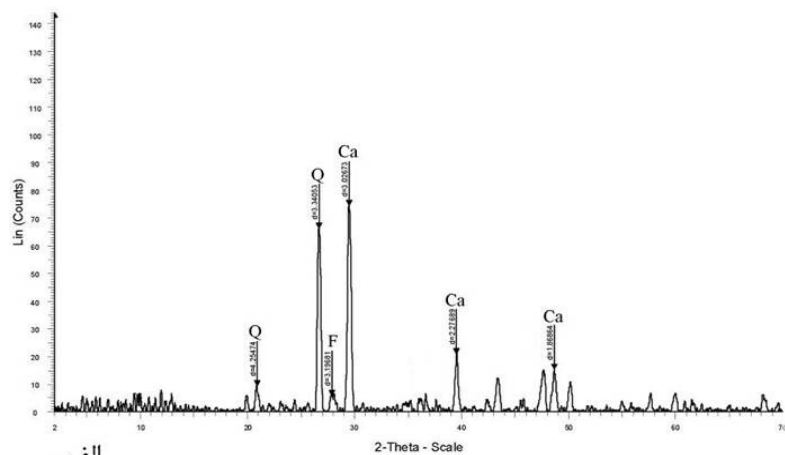
<sup>14</sup> Shell fragment



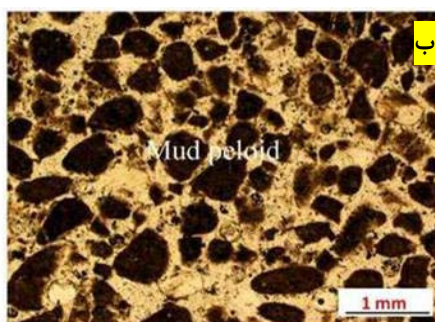
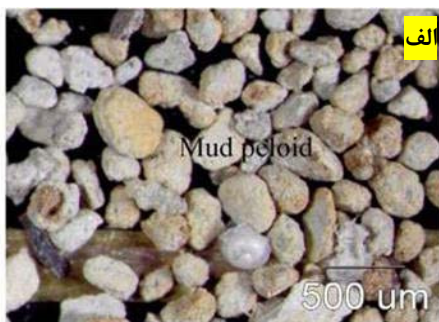
شکل ۱. الف) موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه و شبکه نمونه‌برداری (خطوط سیاه، نیم‌رخ‌های نمونه‌برداری و خط چین نیم‌رخ لرزه‌ای نمایش داده شده در شکل‌های ۸ و ۱۱). ب) نقاط نمونه‌برداری (ژرفای آب و محیط رسوبی بر اساس داده‌های لرزه‌نگاری و ژرفاسنج تعیین شده است).



شکل ۲. اجزای تشکیل‌دهنده رسوبات بستر در مناطق کم‌ژرفای حوضه خزر جنوبی. الف- خرده پوسته و خرده‌سنگ در رسوبات ماسه با کمی گراول در بخش میانی منطقه مورد مطالعه (ژرفای آب ۲۰ متر؛ نمونه شماره ۵۴). ب- خرده پوسته، خرده گیاهی و پوسته دوکفه‌ای در رسوبات ماسه با کمی گراول در بخش باختری منطقه مورد مطالعه (دلتای سفیدرود) (ژرفای آب ۸ متر؛ نمونه شماره ۳۶). ج- پوسته دوکفه‌ای و گاستروپودا در رسوبات ماسه‌ای در بخش خاوری منطقه مورد مطالعه (ژرفای آب ۲۶ متر؛ نمونه شماره ۹۲). د- بلورهای کوارتز، فلدسپات و مسکویت در رسوبات گل ماسه‌ای در بخش باختری منطقه مورد مطالعه (ژرفای آب ۲۴ متر؛ نمونه شماره ۱). ه- پوسته گاستروپودا در رسوبات ماسه‌ای در بخش خاوری منطقه مورد مطالعه (ژرفای آب ۱۵ متر؛ نمونه شماره ۱۰۲). ح- پوسته استراکودا در رسوبات ماسه‌ای در بخش میانی منطقه مورد مطالعه (ژرفای آب ۲۲ متر؛ نمونه شماره ۶۴)



شکل ۳. دیاگرام سنجش پراش اشعه ایکس در ژرفای ۱۸ متری بخش خاوری حوضه خزر جنوبی (نمونه شماره ۱۱۸). الف-Q = کوارتز، Ca = کلسیت و F = فلدسپار. ب-Sm = اسمکتیت، Ch = کلریت، II = ایلیت و K = کائولینیت. لازم به ذکر است که در دیاگرام سنجش کانی‌های رسی به ترتیب (mge)، (mg)، (kt) و (k) نشان‌دهنده تیمار با مخلوط اتیلن گلیکول و کلرید منیزیم، با کلرید منیزیم، با مخلوط کلرید پتاسیم و تابش حرارت تا ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد و با کلرید پتاسیم می‌باشد.



شکل ۴. اجزای تشکیل‌دهنده رسوبات بستر نواحی ژرف حوضه خزر جنوبی. الف) پلوئید گلی آهکی در رسوبات گل ماسه‌ای در بخش میانی منطقه مورد مطالعه (ژرفای آب ۷۶۵ متر؛ نمونه شماره ۶۸). ب) برش میکروسکوپی از پلوئید گلی تصویر ۴ الف. ج) خرده-سنگ‌های کربناته و خرده‌سنگ غیر کربناته گردشده در رسوبات گل با کمی گراول در بخش خاوری منطقه مورد مطالعه (ژرفای آب ۷۴۵ متر؛ نمونه شماره ۱۰۰)

## محیط‌های رسوبی بخش جنوبی خزر جنوبی

با اطلاعات به دست آمده از مطالعات لرزه‌نگاری کم‌ژرفای انجام گرفته و مشاهدات میدانی، می‌توان چهار محیط رسوبی دلتایی (بر اساس مشاهدات میدانی)، سکوی قاره‌ای<sup>۱</sup>، شیب قاره<sup>۲</sup> و دشت حوضه (بر اساس مطالعات لرزه‌نگاری) را برای بخش جنوبی حوضه خزر جنوبی تصور نمود.

## دلنا

نهبشته‌های دلتایی عهد حاضر در بخش دریایی خزر جنوبی در اثر اختلاف چگالی (اختلاف در میزان بار رسوبی) بین آب ورودی رودخانه با آب دریا در محل مصب رودخانه‌ها بر جای گذاشته می‌شوند. در تعیین سیمای ریخت‌شناسی آن‌ها در بخش دریایی دو فرایند میزان انرژی محیط و مقدار بار رسوبی وارده به محیط دریایی تاثیر گذار می‌باشند [۲۵]. با توجه به پارامترهایی از قبیل قابلیت حمل و جابجایی رودخانه‌های ورودی به پهنه آبی از نظر مقدار بار رسوبی، ریخت‌شناسی خط ساحلی و شیب فلات قاره بخش جنوبی دریای خزر، دلتاهای تشکیل شده در این بخش در رده دلتاهای تحت نفوذ امواج دریایی قرار می‌گیرند [۲۵]. در این نوع دلتاهای سدهای ماسه‌ای ایجاد شده در محل مصب رودخانه‌ها به موازات خط ساحلی توسعه می‌یابند. شکل دلتای تشکیل شده حالت نامتقارن داشته و بیش‌تر به فرم پهن، گرد تا گوشه‌دار و مثلثی دیده می‌شوند (شکل ۵). شکل یک دلنا توسط پارامترهای گوناگونی نظیر ریخت‌شناسی ساحل، شکل خط ساحلی، زاویه شیب بستر سکوی قاره، جهت و شدت انرژی امواج وارده از دریا به سمت خشکی و میزان حمل و نقل رسوبات ساحلی کنترل می‌گردد [۲۵]. روند تغییرات اندازه ذرات نهشته شده در روی بستر از خط ساحلی<sup>۳</sup> به سمت ژرفای آب در دلتاهای نواحی مرکزی، باختری و خاوری بخش جنوبی خزر جنوبی همانند دلتاهای هراز، سفیدرود و اسالم‌رود بدین صورت است که با افزایش ژرفای آب درصد فراوانی ذرات ریز دانه افزایش و ذرات درشت دانه کاهش می‌یابد. با افزایش فاصله از خط ساحلی به ترتیب رسوبات ماسه گلی، گل ماسه‌ای و گل در نواحی مرکزی و باختری و در

نواحی خاوری رسوبات گل ماسه‌ای و گل غالب می‌باشند (شکل‌های ۶ و ۷ و جدول ۱).

## سکوی قاره

محیط دریایی سکوی قاره‌ای مکان مناسبی برای تجمع رسوبات آواری شسته شده از قاره‌ها و رسوب‌گذاری کربنات‌ها از باقی‌مانده موجودات ساکن در آب می‌باشد [۲۵]. رسوبات ایجاد شده در این محیط بی‌نهایت گسترده است و ژرفای متوسط آن در حدود ۲۰۰ متر است (شکل ۸). تغییرات سطح آب باعث فرسایش و رسوب‌گذاری در سکوی قاره شده است. پایین افتادگی سطح آب در طول زمان باعث فرسایش و ایجاد کانال‌هایی (دره‌های حفر شده) در بستر دریا شده است. در زمان بالآمدگی مجدد سطح آب، این کانال‌ها با رسوبات جدید پر شده است. فرایند فرسایش و تشکیل کانال (شواهد خروج از آب به صورت مرز فرسایشی) بر روی داده‌های لرزه‌ای سکوی قاره قابل مشاهده است (شکل ۸). الگوی داده‌های لرزه‌ای در رسوبات پرکننده دره‌های حفر شده و رسوبات زیر لبه سکو از نوع لایه‌ای شکل<sup>۴</sup> با بازتابنده‌های موازی تا نیمه موازی است (شکل ۸). با بررسی‌های صورت گرفته در منطقه نزدیک ساحل خزر جنوبی تا ژرفای ۵۰۰ متری آب (شیب قاره) بر پایه داده‌های ژرفاسنج کشتی و لرزه‌نگاری کم‌ژرفا، بستر این منطقه در دو ناحیه چالوس و کهنه سفیدرود (شمال لنگرود) دارای بیش‌ترین مقدار شیب می‌باشند. محیط رسوبی سکوی قاره را می‌توان با توجه به عملکرد امواج و توصیف نواحی مختلف در برش طولی ساحل به دو منطقه نزدیک ساحل<sup>۵</sup> (تا ژرفای ۵۰ متری آب) و فراساحلی<sup>۶</sup> (از ژرفای ۵۰ تا ۲۰۰ متری آب) تقسیم نمود. انواع رسوبات در سکوی قاره بخش جنوبی خزر جنوبی در نواحی دور از مصب رودخانه‌ها به ترتیب از خط ساحلی تا منطقه فراساحلی (ژرفای آب کم‌تر از ۲۰۰ متر) شامل رسوبات ماسه‌ای (ناحیه فوقانی بخش نزدیک ساحل؛ ژرفای ۰ تا ۲۰ متری آب) و گل-غالب<sup>۷</sup> (ناحیه تحتانی بخش نزدیک ساحل و بخش فراساحلی؛ ژرفای ۲۰ تا ۲۰۰ متری آب) می‌باشند (شکل ۹). رسوبات گل غالب متشکل از سه نوع رسوب گل همگن با کمی ذرات در اندازه ماسه (ذرات در

<sup>4</sup> Stratiform

<sup>5</sup> Near shore zone

<sup>6</sup> Off shore zone

<sup>7</sup> Mud dominated

<sup>1</sup> Continental Shelf

<sup>2</sup> Continental slope

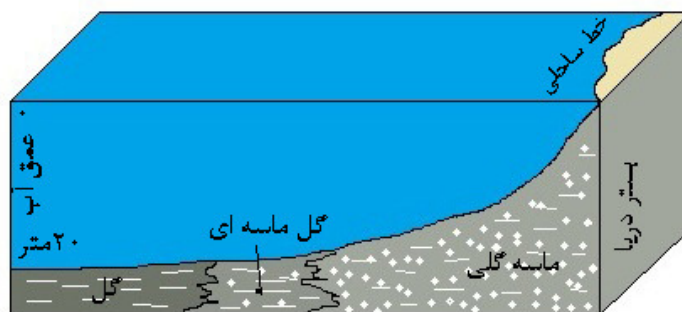
<sup>3</sup> Shore line

سطحی ناحیه نزدیک ساحل سکوی قاره در دو محدوده ذرات در اندازه متوسط با جورشدگی بد تا متوسط با فراوانی در اندازه ماسه ریز تا بسیار ریز و ذرات ریز دانه با جورشدگی بد با فراوانی در اندازه سیلت ریز تا بسیار ریز می‌باشند (شکل ۱۰ و جدول ۱).

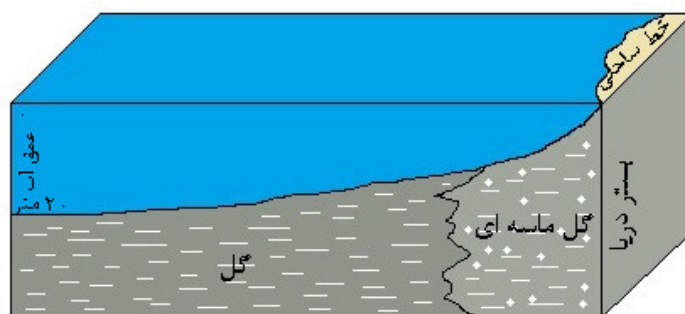
انداز ماسه کم‌تر از ۵ درصد؛ خرده‌سنگ کربناته و بیوکلست)، گل ماسه‌ای (بیش از ۲۰ درصد ذرات در اندازه ماسه) و سیلت می‌باشد. رسوبات ماسه‌ای از دو نوع رسوب ماسه با کمی گراول با پوسته موجودات و خرده سنگ کربناته و غیر کربناته و ماسه گلی با کمی گراول تشکیل شده است. تمرکز ذرات رسوبی در رسوبات



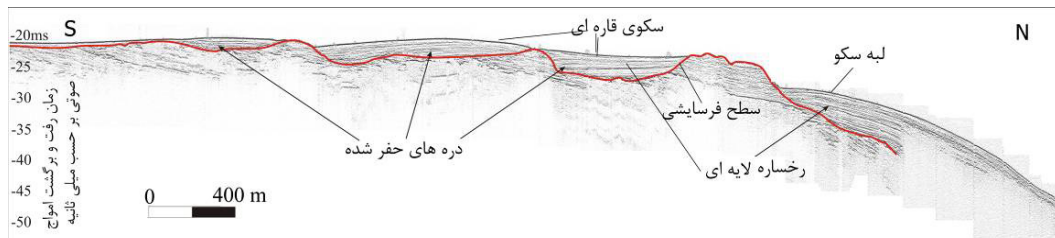
شکل ۵. توسعه سد ماسه‌ای به موازات خط ساحلی و در کانال رودخانه تنکابن



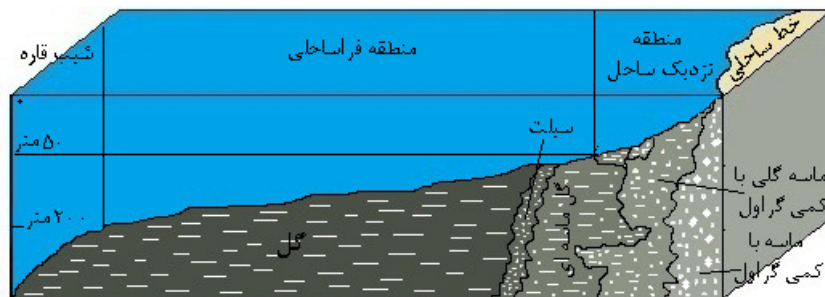
شکل ۶. مدل شماتیک از روند تغییرات رسوبات در بستر دلتاهای مناطق مرکزی و باختری بخش جنوبی خزر جنوبی (به نقاط نمونه‌برداری ۳۶ و ۵۴ در شکل ۱ ب توجه شود)



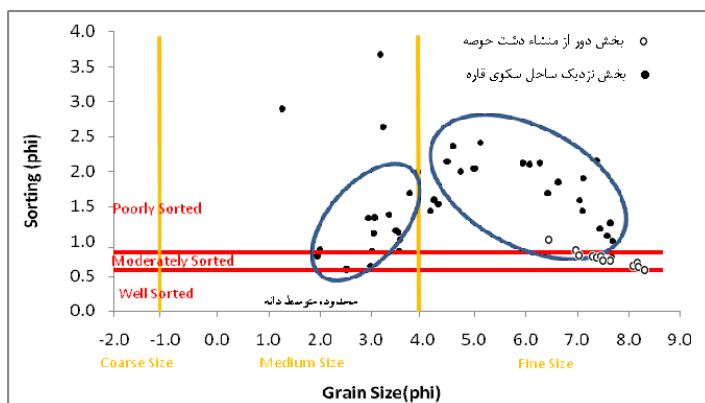
شکل ۷. مدل شماتیک از روند تغییرات رسوبات در بستر دلتاهای مناطق خاوری بخش جنوبی خزر جنوبی (به نقطه نمونه‌برداری ۷۴ در شکل ۱ ب توجه شود)



شکل ۸. نیمرخ لرزه‌ای از محیط سکوی قاره‌ای و بخش ابتدایی ناحیه شیب در بخش باختری حوضه خزر جنوبی. متوسط ژرفای آب در ناحیه سکوی قاره در منطقه مورد مطالعه در حدود ۲۰۰ متر می‌باشد. در زیر بستر در ناحیه سکوی قاره، دره‌های حفر شده و سطح فرسایشی مشاهده شده است. رخساره‌های لایه‌ای شکل با بازتابنده‌های موازی تا نیمه‌موازی در رسوبات پرکننده دره‌های حفر شده و در رسوبات زیر لبه سکو مشاهده شده است. موقعیت این نیمرخ در شکل ۱ الف به صورت خط‌چین مشخص شده است.



شکل ۹. مدل شمانیک از تغییرات رسوبات در نهشته‌های سطحی بستر سکوی قاره در بخش جنوبی خزر جنوبی (نواحی دور از مصب رودخانه‌ها)



شکل ۱۰. ارتباط بین اندازه ذرات و جورشدگی در رسوبات سطحی بخش نزدیک ساحل سکوی قاره و بخش دور از منشأ دشت حوضه در بخش جنوبی خزر جنوبی. دایره‌های ترسیم شده بیانگر فراوانی ذرات در اندازه سیلت با جورشدگی ضعیف و ماسه بسیار ریز تا ریز با جورشدگی متوسط تا ضعیف است.

### شیب قاره و دشت حوضه

شیب‌های قاره دارای شیبی بین ۲ تا ۱۰ درجه هستند، در حالی که سکوی قاره و بستر مسطح اقیانوس دارای شیبی بسیار کم در حدود ۰/۰۵۰ درجه هستند [۲۵]. شیب‌هایی با بیش از ۱ درجه شیب دارای پایداری کم‌تری در برابر حرکت رسوبات هستند و رسوبات سست<sup>۱</sup>

به راحتی به صورت جریان‌های توده‌ای<sup>۲</sup> یا ریزش‌ها<sup>۳</sup> حرکت می‌کنند. ماهیت و مقدار رسوب انتقال داده شده به شیب قاره بستگی به عرض سکو و فراوانی رسوبات در آن دارد [۲۵]. با توجه به داده‌های لرزه‌ای اخذ شده از بستر دریای خزر در منطقه مورد مطالعه، دامنه ژرفای آب

<sup>۲</sup> Mass Flows

<sup>۳</sup> Slumps

<sup>۱</sup> Unconsolidated



گراول بین ۳ تا ۴ درصد (خرده‌سنگ‌های کربناته و غیر کربناته)) می‌باشد. ذرات تشکیل‌دهنده رسوبات این ناحیه به سه گروه آواری (کوارتز، فلدسپات، خرده‌سنگ‌های کربناته و غیر کربناته گردشده، مسکویت و کانی‌های رسی اسمکتیت، کائولینیت، ایلیت و کلریت)، آلی-زیستی (پوسته موجوداتی نظیر دوکفه‌ای، استراکود و گاستروپود) و قطعات غیر اسکلتی کربنات کلسیم شامل پلوئیدهای آهکی گلی تقسیم شده است (جدول ۱). نهشته‌های دشت حوضه از رسوبات نزدیک به منشأ<sup>۷</sup> (۳) نوع رسوب گل (رسوب پلاژیک/همی‌پلاژیک)، گل ماسه‌ای و گل با کمی گراول (رسوب جریان خرده‌دار) و دور از منشأ<sup>۸</sup> (۲) نوع رسوب گل و سیلت (رسوب پلاژیک/همی‌پلاژیک)) تشکیل شده است. لازم به ذکر است که بر میزان پلوئیدهای گلی آهکی نسبت به رسوبات سکو و شیب (پلوئیدهای در اندازه سیلت درشت بیش از ۲۰ درصد) افزوده و از میزان قطعات بیوکستی (کمتر از ۱۰ درصد) و ذرات آواری (کمتر از ۱۵ درصد) کاسته می‌شود. تمرکز ذرات رسوبی در رسوبات نزدیک منشأ دشت ساحلی در دو محدوده ذرات در اندازه متوسط با جورشدگی بد با فراوانی در اندازه ماسه ریز (رسوبات جریان خرده‌دار) و ذرات ریز دانه با جورشدگی متوسط با فراوانی در اندازه سیلت ریز تا بسیار ریز (رسوبات پلاژیک/همی‌پلاژیک) و در رسوبات دور از منشأ در محدوده ذرات ریز دانه با جورشدگی متوسط تا بد (رسوبات پلاژیک/همی‌پلاژیک) می‌باشند (شکل ۱۰).

### ژئوشیمی آلی و منشأ مواد آلی

مناطق غنی از مواد آلی بیش‌تر در حواشی قاره‌ها از قبیل خلیج‌های دهانه‌ای، لاگون‌های سطحی، ریف و برخی دریاچه‌ها قرار دارند [۱۴]. در مطالعات زمین‌شناسی دریائی تعیین محتوی ماده آلی و مقدار کربن آلی کل می‌تواند اطلاعات مفیدی در ارتباط با میزان تولید اولیه در دریاها، تجزیه بعدی آن‌ها در طی رسوب‌گذاری، پتانسیل حفظ شدگی مواد آلی در رسوبات و همچنین الگوی پراکندگی اجزای آلی در منطقه ارائه دهد [۲۲]. به همین منظور برای منطقه مورد مطالعه، تعداد چهل و هشت نمونه از رسوبات سطحی جهت تعیین میزان ماده

در شیب قاره (حداکثر شیب در حدود ۶ درجه) و دشت حوضه به ترتیب در حوضه خزر جنوبی به طور متوسط بین ۲۰۰-۷۰۰ و بیش از ۷۰۰ متر می‌باشد. نیمرخ‌های لرزه‌ای ثبت شده در ناحیه شیب نشان‌دهنده رسوبات لغزش یافته (زون لغزشی با سطوح پشته‌ای و بازتابنده‌های داخلی نامنظم و آشفته<sup>۴</sup>) ایجاد شده در اثر ناپایداری بستر در ناحیه شیب می‌باشد (شکل ۱۱). با توجه به رسوبات سطحی در ناحیه شیب، عمده رسوبات تشکیل‌دهنده شیب، رسوبات ریز دانه در حد رس و سیلت و به مقدار کم‌تر ذرات در اندازه ماسه و گراول می‌باشد (محدوده پراکنش ذرات بیش‌تر در ذرات در اندازه سیلت ریز تا بسیار ریز و رس قرار می‌گیرد). ذرات تشکیل‌دهنده این ناحیه به سه گروه آواری (کوارتز، فلدسپات، مسکویت، خرده‌سنگ کربناته و غیر کربناته و کانی‌های رسی اسمکتیت، کائولینیت، ایلیت و کلریت)، آلی-زیستی<sup>۵</sup> (پوسته موجوداتی نظیر دوکفه‌ای، استراکود و گاستروپود) و قطعات غیر اسکلتی کربنات کلسیم شامل پلوئیدهای آهکی گلی تقسیم شده است (جدول ۱). از ویژگی‌های رسوبات این ناحیه وجود نهشته‌های ناشی از جریان‌های خرده‌دار<sup>۶</sup> یا همان دبریت (رسوبات گل ماسه‌ای با جورشدگی بد با پلوئیدهای آهکی گلی یا گل با کمی گراول با جورشدگی ضعیف با خرده‌سنگ‌های کربناته و غیر کربناته؛ ذرات در اندازه ماسه بین ۱۰ تا ۲۰ درصد و ذرات در اندازه گراول بین ۴ تا ۵ درصد) و رسوبات گلی پلاژیک و همی‌پلاژیک نهشته شده از حالت معلق می‌باشد. دبریت‌ها دارای گل فراوان با قطعات پراکنده در آن هستند که یک فابریک با زمینه فراوان را درست می‌کنند. معمولا جورشدگی یا حالت دانه‌بندی تدریجی در آن‌ها مشاهده نمی‌شود [۱۲]. رسوبات گلی پلاژیک این ناحیه حاوی کم‌تر از ۳ درصد ذرات در اندازه ماسه (قطعات اسکلتی و خرده‌سنگ) می‌باشد.

با توجه به رسوبات سطحی گرفته شده از ناحیه دشت حوضه، عمده رسوبات تشکیل‌دهنده دشت حوضه همانند شیب، رسوبات ریز دانه در حد رس و سیلت ریز-بسیار ریز و به مقدار کم‌تر ذرات در اندازه ماسه و گراول (ذرات در اندازه ماسه بین ۱۰ تا ۱۵ درصد) (پلوئیدهای گلی آهکی، پوسته موجودات و خرده‌سنگ) و ذرات در اندازه

<sup>7</sup> Proximal sediments

<sup>8</sup> Distal sediments

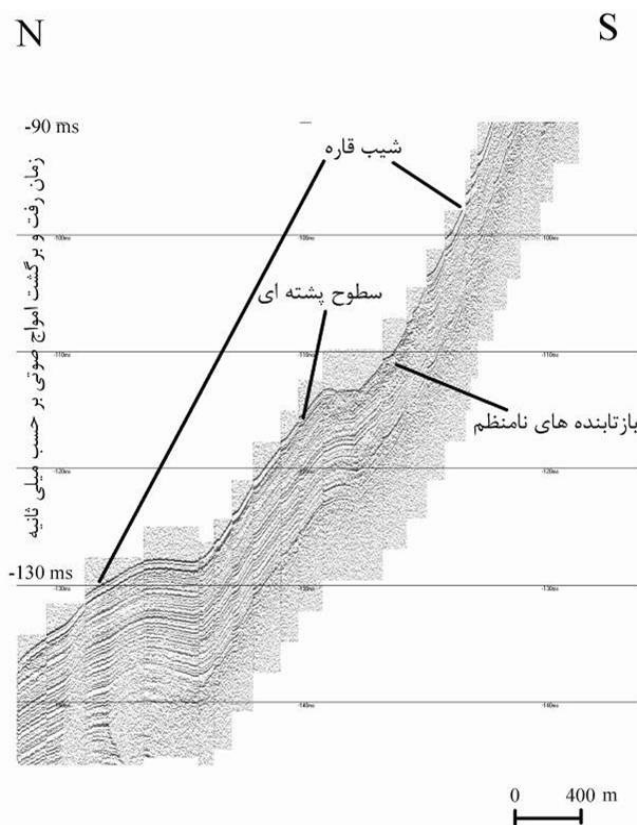
<sup>4</sup> Chaotic

<sup>5</sup> organic-biogenic

<sup>6</sup> Debris flow

آلی انتخاب شده است. رسوبات سکوی قاره‌ای (نمونه‌های ۳، ۵، ۸، ۱۴، ۲۰، ۲۱، ۲۹، ۳۰، ۳۷، ۴۵، ۵۴، ۸۳، ۷۵، ۹۳، ۱۰۲، ۱۰۴، ۱۱۵، ۱۱۷، ۱۱۹ و ۱۲۱) بر اساس مقادیر کربن آلی کل (0.4-0.65 Wt%)، میزان  $S_2$  (0.8-1.35 mgHc/ g Rock) و مقادیر شاخص هیدروژن (132 – 260 mgHc org C)، رسوبات شیب قاره‌ای (نمونه‌های ۱۲، ۱۸، ۲۴، ۳۴، ۴۰، ۴۷، ۶۶، ۸۶، ۹۵ و ۱۰۶) بر اساس مقادیر کربن آلی کل (0.58-0.91 Wt%)، میزان  $S_2$  (1.22-1.95 mgHc/ gRock) و مقادیر شاخص هیدروژن (153 – 327 mgHc org C) و رسوبات دشت حوضه (نمونه‌های ۲۷، ۳۵، ۴۲، ۴۳، ۵۰، ۵۳، ۵۹، ۶۱، ۶۳، ۶۹، ۷۰، ۷۳، ۸۰، ۸۲، ۸۸، ۹۰، ۹۹ و ۱۰۱) بر اساس مقادیر کربن آلی کل (1-2 Wt%)، میزان  $S_2$

آلی انتخاب شده است. رسوبات سکوی قاره‌ای (نمونه‌های ۳، ۵، ۸، ۱۴، ۲۰، ۲۱، ۲۹، ۳۰، ۳۷، ۴۵، ۵۴، ۸۳، ۷۵، ۹۳، ۱۰۲، ۱۰۴، ۱۱۵، ۱۱۷، ۱۱۹ و ۱۲۱) بر اساس مقادیر کربن آلی کل (0.4-0.65 Wt%)، میزان  $S_2$  (0.8-1.35 mgHc/ g Rock) و مقادیر شاخص هیدروژن (132 – 260 mgHc org C)، رسوبات شیب قاره‌ای (نمونه‌های ۱۲، ۱۸، ۲۴، ۳۴، ۴۰، ۴۷، ۶۶، ۸۶، ۹۵ و ۱۰۶) بر اساس مقادیر کربن آلی کل (0.58-0.91 Wt%)، میزان  $S_2$  (1.22-1.95 mgHc/ gRock) و مقادیر شاخص هیدروژن (153 – 327 mgHc org C) و رسوبات دشت حوضه (نمونه‌های ۲۷، ۳۵، ۴۲، ۴۳، ۵۰، ۵۳، ۵۹، ۶۱، ۶۳، ۶۹، ۷۰، ۷۳، ۸۰، ۸۲، ۸۸، ۹۰، ۹۹ و ۱۰۱) بر اساس مقادیر کربن آلی کل (1-2 Wt%)، میزان  $S_2$



شکل ۱۱. نیمرخ لرزه‌ای از شیب قاره در بخش باختری حوضه خزر جنوبی. در ناحیه شیب، رسوبات لغزش یافته با سطوح پشته‌ای و بازتابنده‌های داخلی نامنظم و آشفته مشاهده می‌شوند. موقعیت این نیمرخ در شکل ۱ الف مشخص شده است.

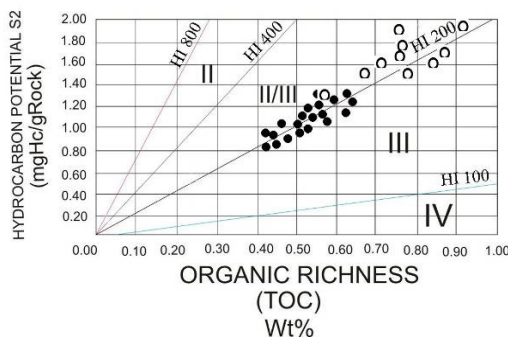
و شیب قاره‌ای از مواد آلی نوع III و مخلوط II/III (شکل ۱۲ الف) و رسوبات دشت حوضه عمدتاً<sup>۱</sup> از مواد آلی نوع II و به مقدار بسیار کم از نوع III تشکیل شده است (شکل ۱۲ ب).

مطالعه نمونه‌های فوق نشان می‌دهد که دو نوع ماده آلی تیپ II با منشأ دریایی و فیتوپلانکتونیک<sup>۱</sup> و تیپ III با منشأ خشکی‌زی<sup>۲</sup> در آن‌ها مشاهده شده‌اند. رسوبات سکو

<sup>1</sup> Marine and phytoplanktonic origin

<sup>2</sup> Terrestrial origin

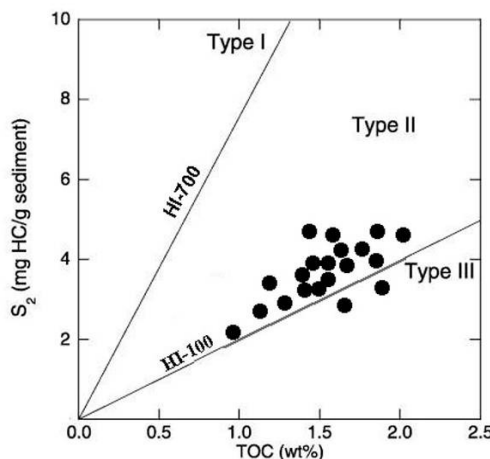
الف- رسوبات سکوی  
قاره ای و شیب قاره



○ = شیب قاره

● = سکوی قاره

ب- رسوبات دشت حوضه



شکل ۱۲. ارتباط بین کربن آلی کل و  $S_2$  برای رسوبات بخش جنوبی حوضه خزر جنوبی. الف) رسوبات سکوی قاره‌ای و شیب قاره. ب) رسوبات دشت حوضه. نمودار الف بوسیله [۱۲] و نمودار ب بوسیله [۱۷] تعریف شده است. با افزایش ژرفای آب، مواد آلی نوع III افزایش می‌یابد.

و گلی، سکوی قاره با رسوبات ماسه‌ای (ناحیه فوقانی بخش نزدیک ساحل) و گل-غالب (ناحیه تحتانی بخش نزدیک ساحل و بخش فراساحلی)، شیب با رسوبات ناشی از جریان خرده‌دار (دبریت؛ گل با کمی گراول یا گل ماسه‌ای با جورشدگی ضعیف) و پلاژیک/همی‌پلاژیک (گل) و دشت حوضه با رسوبات نزدیک به منشا (تناوب رسوبات خرده‌دار و پلاژیک/همی‌پلاژیک) و دور از منشا (رسوبات پلاژیک/همی‌پلاژیک) تقسیم شده است. ذرات در اندازه گراول و ماسه در مناطق کم‌ژرفا بطور عمده شامل پوسته موجودات، پلوئید گلی آهکی و خرده‌سنگ‌های کربناته و غیر کربناته و در مناطق ژرف شامل خرده‌سنگ می‌باشند. با افزایش ژرفای آب (از سکوی قاره به دشت حوضه)، ذرات آواری نظیر کوارتز، فلدسپات و پوسته موجودات رسوب‌خوار (فونای کفزی) کاهش و ذرات در اندازه سیلت و رس (بار معلق) افزایش می‌یابد (شکل ۱۳).

### بحث

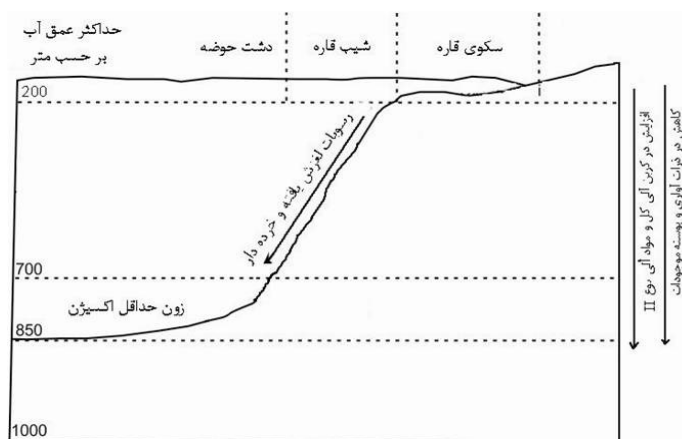
بسیاری از محیط‌های آبی نظیر دریای عرب [۲۹]، خلیج فارس [۷]، دریای سیاه [۴]، دریاچه تانگانیکا [۳۱] و اقیانوس هند [۲۶] از لحاظ رسوب‌شناختی و حفظ و تولید مواد آلی مورد بررسی قرار گرفته‌اند. اما به دلیل نوبا بودن مطالعات زمین‌شناسی دریایی در ایران توجه کم‌تری از لحاظ قابلیت حفظ مواد آلی و شناسایی رسوبات در محیط‌های آبی ایران نظیر بخش جنوبی دریای خزر شده است.

در این پژوهش، ارتباط بین پتانسیل حفظ مواد آلی، نوع مواد آلی، محتوی زیستی و محیط رسوبی بررسی شده است. در ضمن منطقه حداقل اکسیژن<sup>۱</sup> و رسوبات موجود در بخش جنوبی حوضه خزر جنوبی شناسایی شده‌اند.

### محیط رسوبی و رسوب‌شناسی

باتوجه به مطالعات صورت گرفته محیط رسوبی بخش جنوبی خزر جنوبی به چهار بخش دلتا با رسوبات ماسه‌ای

<sup>1</sup> Oxygen minimum zone



شکل ۱۳. تقسیم‌بندی محیط رسوبی بر اساس ژرفای آب و تغییرات در مقادیر کربن آلی کل، نوع مواد آلی و اجزای سازنده رسوبات بخش جنوبی حوضه خزر جنوبی. زون حداقل اکسیژن در دشت حوضه قرار گرفته است. با افزایش ژرفای آب از سکوی قاره تا دشت حوضه، کربن آلی کل و مواد آلی نوع II افزایش و ذرات آواری و پوسه موجودات کاهش می‌یابد.

### ژئوشیمی آلی

برای نهشته شدن رسوبات غنی از مواد آلی سه پارامتر سطح اکسیژن پایین [۱۴]، نرخ بالای تولید مواد آلی در زون نورگیر [۱۴ و ۱۵] و نرخ رسوب‌گذاری [۳۴] بسیار مهم می‌باشند. برخی نرخ رسوب‌گذاری بالا را به دلیل عبور سریع رسوبات حاوی مواد آلی از منطقه تجزیه باکتریایی باعث حفظ شدگی این رسوبات می‌دانند [۱۷]. در مقابل برخی محققین معتقدند که تحت شرایط نرخ رسوب‌گذاری پایین در سکنس‌های متراکم (واحدهای چینه‌شناسی نازک مشتمل بر رسوبات پلاژیک و همی پلاژیک) تمرکز مواد آلی افزایش می‌یابد [۹]. البته دی میسون و همکاران<sup>۱</sup> [۱۰] پیشنهاد دادند که میزان حفظ‌شدگی مواد آلی در محیط رسوبی عمدتاً مستقل از نرخ رسوب‌گذاری است. در ضمن، پارامترهای دیگری نظیر جریان عمومی آب و محتوی زیستی می‌توانند بر نرخ حفظ مواد آلی موثر باشند. فقدان موجودات آشفته کننده کفزی سبب افزایش نرخ حفظ‌شدگی مواد آلی در رسوبات می‌گردد [۵]. موجودات رسوب‌خوار<sup>۲</sup> ساکن در بین رسوبات<sup>۳</sup> شامل موجودات حفار مانند استراکود، دوکفه‌ای‌های کفزی و گاستروپود هستند که سبب زیست‌آشفستگی در رسوبات می‌گردد. کاهش موجودات کفزی سبب کاهش در مصرف مستقیم مواد آلی می‌شود. همچنین کاهش زیست‌آشفستگی سبب کاهش زمان رخنمون یافتن در سطح مشترک رسوب-آب

می‌شود. این پارامترها سبب افزایش کربن آلی و مواد آلی

غنی از لیپید (نوع II) در رسوبات می‌گردد [۱۶]. با افزایش ژرفای آب (از سکوی قاره به دشت حوضه)، کربن آلی کل،  $S_2$  و مواد آلی نوع II (منشا دریایی) افزایش و مواد آلی نوع III (منشا خشکی‌زی) و مخلوط II/III کاهش می‌یابد (شکل ۱۳). میزان کربن آلی کل در رسوبات سکو و شیب قاره کمتر از ۱ درصد وزنی و در رسوبات دشت حوضه بین ۱ تا ۲ درصد وزنی می‌باشد. رسوبات مطالعه شده از لحاظ شرایط اکسیدان-احیایی<sup>۴</sup> به دو دسته رسوبات اکسیدان<sup>۵</sup> با کربن آلی کل کمتر از ۱ درصد وزنی (رسوبات سکو و شیب قاره) و رسوبات فقیر از اکسیژن<sup>۶</sup> با کربن آلی بین ۱ تا ۲ درصد وزنی (رسوبات دشت حوضه) تقسیم شده است. افزایش کربن آلی کل و مواد آلی نوع II با افزایش ژرفای آب از ناحیه سکو به سمت دشت حوضه احتمالاً به دلیل کاهش تمرکز اکسیژن محلول (منطقه حداقل اکسیژن) در اکثر نقاط ژرف (دشت حوضه) نسبت به نقاط کم‌ژرف و دور شدن از منشا مواد آلی خشکی‌زی (قاره‌ای، ماده آلی نوع III) می‌باشد. مواد آلی نوع III و مخلوط III-II نشان‌دهنده افزایش در ورودی مواد آلی خشکی‌زی در طی رسوب‌گذاری در آن رسوبات است. همچنین اکسیداسیون پس از رسوب‌گذاری مواد آلی می‌تواند سبب تبدیل مواد آلی غنی از هیدروژن (مواد آلی نوع I یا II) به مواد آلی نوع III شود [۲۳ و ۲۶]. پس بایستی احتمال اکسیداسیون

<sup>4</sup> Oxidation-reduction condition

<sup>5</sup> Oxic facies

<sup>6</sup> Dysoxic facies

<sup>1</sup> Demaison et al.

<sup>2</sup> Deposit feeders

<sup>3</sup> Infauna

اکسیداسیون و کاهش نرخ حفظ شدگی آن‌ها می‌گردد. در جدول ۳ انواع رسوبات، لایه حداقل اکسیژن، انواع مواد آلی و حداکثر کربن آلی در حوضه خزر جنوبی با برخی از حوضه‌های مطالعه شده در سایر نقاط جهان مقایسه شده‌اند. در موارد مقایسه شده، مواد آلی نوع II و حداکثر مقدار کربن آلی در بخش‌های ژرف آن حوضه و لایه حداقل اکسیژن گسترش یافته‌اند.

به نظر می‌رسد که کاهش چرخش قائم ستون آب و کاهش سرعت جریان آب‌های ژرف [۳۳] نیز کمک به حفظ و تجمع مواد آلی در مناطق دشت حوضه در حوضه خزر جنوبی می‌کند. شرایط نسبتاً راکد (وجود جریان با سرعت کم و مخلوط‌شدگی همرفت قائم ژرف و یا حرکت رو به پایین آب‌های کم‌ژرف‌های اکسیژن‌دار به ژرفاهای پایین‌تر به سمت شیب قاره در فصل زمستان [۳۳])، سبب تهویه ناچیز آب‌های بستر حوضه و در نتیجه آن ایجاد شرایط فقیر از اکسیژن (عدم تشکیل مناطق احیایی و فاقد اکسیژن؛ رسوبات حاوی کربن آلی کل بین ۱ تا ۲ درصد وزنی) در ژرفای حوضه خزر جنوبی می‌گردد. همچنین تشکیل جریان‌های خرده‌دار و رسوبات لغزش‌یافته سبب تدفین سریع‌تر رسوبات در مناطق ژرف و کاهش زمان ماندگاری رسوبات در زون زیست‌آشفته‌گی (لایه‌های رسوب سطحی) و زون دگرسانی (تجزیه مواد آلی در زون نورگیر) می‌گردد. با توجه با این شرایط مقادیر بالاتری از مواد آلی می‌توانند در محیط‌های ژرف حوضه خزر جنوبی (دشت حوضه) حفظ شوند.

بخشی از مواد آلی (تبدیل مواد آلی نوع II به نوع III) در رسوبات خزر جنوبی را لحاظ نمود.

با توجه به مقادیر اکسیژن محلول [۳۲]، انطباق خوبی بین مقادیر اکسیژن محلول، انواع مواد آلی و میزان کربن آلی کل (منتج شده از این پژوهش) در بخش جنوبی حوضه خزر جنوبی مشاهده می‌گردد. با افزایش ژرفای آب (از سکوی قاره تا دشت حوضه) کاهش میزان اکسیژن محلول با افزایش در میزان کربن آلی کل و مواد آلی نوع II همراه می‌باشد.

با توجه به بررسی فونای جانوری در رسوبات مطالعه شده، رابطه معکوس بین زیست‌آشفته‌گی (میزان پوسته موجودات کفزی) و محتوی کربن آلی [۱۶] درون حوضه خزر جنوبی نشان می‌دهد که زیست‌آشفته‌گی در مقیاس کوچک<sup>۱</sup> در مناطق ژرف (دشت حوضه) (کربن آلی کل بیش از ۱ درصد وزنی) و زیست‌آشفته‌گی بزرگ مقیاس<sup>۲</sup> در رسوبات کم‌ژرف‌تر (شیب و سکو) (کربن آلی کل کم‌تر از ۱ درصد وزنی) اتفاق افتاده است. کاهش در زیست‌آشفته‌گی و فونای کفزی در بخش ژرف دریای خزر، رخنمون مواد آلی جهت اکسیداسیون را در این رسوبات کاهش می‌دهد و در نتیجه رسوبات مناطق ژرف حوضه خزر جنوبی دارای کربن آلی کل بیش‌تری هستند. همچنین در مناطق کم‌ژرف‌های حوضه خزر جنوبی (رسوبات سکوی قاره‌ای) به علت تلاطم، آشفته‌گی، معلق شدن دوباره رسوبات بستر و افزایش در فونای کفزی و زیست‌آشفته‌گی سبب رخنمون مجدد مواد آلی،

جدول ۱.۱. اجزای تشکیل‌دهنده رسوبات، جورشدگی و انواع رسوبات محیط‌های رسوبی بخش جنوبی حوضه خزر جنوبی

| دشت حوضه   | شیب قاره   | سکوی قاره‌ای   | دلنا  | محیط‌های رسوبی   |
|--|--|--|---|------------------|
| گل، گل ماسه‌ای، گل با کمی گراول و سیلت                                     | گل ماسه‌ای، گل با کمی گراول و گل   | ماسه با کمی گراول، ماسه گلی با کمی گراول، گل ماسه‌ای و سیلت                | ماسه‌گلی، گل ماسه‌ای و گل                                     | انواع غالب رسوب  |
| بد تا متوسط  | بد تا متوسط  | بد تا متوسط  | بد  | جورشدگی          |
| گاستروپودا، دوکفه‌ای و استراکودا   | گاستروپودا، دوکفه‌ای و استراکودا   | گاستروپودا، دوکفه‌ای، خرده پوسته و استراکودا                               | خرده پوسته و دوکفه‌ای   | ذرات آلی-زیستی   |
| خرده‌سنگ‌های کربناته و غیر کربناته، کوارتز، فلدسپار، مسکویت و کانی-های رسی | خرده‌سنگ‌های کربناته و غیر کربناته، کوارتز، فلدسپار، مسکویت و کانی-های رسی | خرده‌سنگ‌های کربناته و غیر کربناته، کوارتز، مسکویت، فلدسپار و کانی‌های رسی | خرده‌سنگ، قطعات گیاهی، کوارتز، فلدسپار، مسکویت و کانی‌های رسی | ذرات آواری       |
| پلوئید گلی آهکی  | پلوئید گلی آهکی  | پلوئید گلی آهکی  |   | قطعات غیر اسکلتی |

<sup>1</sup>Microbioturbation

<sup>2</sup>Coarse bioturbation

جدول ۲. نتایج پیرولیز راک-اول رسوبات سطحی بخش جنوبی حوضه خزر جنوبی. نمونه‌های توپر نشان‌دهنده رسوبات دشت حوضه (شرایط فقیر از اکسیژن) است.

| Sample No. | TOC (wt%) | S <sub>2</sub> (mgHc/gRock) | HI (mgHc/orgC) | Sample No. | TOC (wt%) | S <sub>2</sub> (mgHc/gRock) | HI (mgHc/orgC) |
|------------|-----------|-----------------------------|----------------|------------|-----------|-----------------------------|----------------|
| 3          | 0.42      | 0.80                        | 190            | 61         | 1.22      | 2.48                        | 203            |
| 5          | 0.40      | 0.85                        | 212            | 63         | 1.72      | 2.48                        | 144            |
| 8          | 0.48      | 1.25                        | 260            | 66         | 0.90      | 1.39                        | 154            |
| 12         | 0.51      | 1.10                        | 215            | 69         | 1.23      | 2.49                        | 202            |
| 14         | 0.52      | 1.12                        | 215            | 70         | 1.23      | 2.49                        | 202            |
| 18         | 0.53      | 1.14                        | 215            | 73         | 1.35      | 2.63                        | 210            |
| 20         | 0.54      | 1.14                        | 211            | 75         | 0.57      | 1.17                        | 205            |
| 21         | 0.55      | 1.15                        | 209            | 80         | 1.22      | 2.48                        | 203            |
| 24         | 0.55      | 1.16                        | 210            | 82         | 1.50      | 3.00                        | 200            |
| 27         | 1.25      | 2.49                        | 200            | 83         | 0.62      | 1.29                        | 208            |
| 29         | 0.57      | 1.17                        | 205            | 86         | 0.60      | 1.30                        | 206            |
| 30         | 0.60      | 1.21                        | 201            | 88         | 1         | 2.05                        | 205            |
| 34         | 0.60      | 1.23                        | 205            | 90         | 1.08      | 2.26                        | 209            |
| 35         | 1.65      | 2.99                        | 181            | 93         | 0.65      | 1.35                        | 207            |
| 37         | 0.63      | 1.30                        | 206            | 95         | 0.57      | 1.35                        | 236            |
| 40         | 0.63      | 1.29                        | 204            | 99         | 1.22      | 2.48                        | 203            |
| 42         | 1.29      | 2.90                        | 224            | 101        | 1.22      | 2.48                        | 203            |
| 43         | 2.00      | 4.50                        | 225            | 102        | 0.64      | 0.85                        | 132            |
| 45         | 0.57      | 1.35                        | 236            | 104        | 0.85      | 1.38                        | 162            |
| 47         | 0.64      | 0.85                        | 132            | 106        | 0.89      | 1.37                        | 153            |
| 50         | 1.35      | 2.63                        | 210            | 115        | 0.91      | 1.87                        | 205            |
| 53         | 1.35      | 2.63                        | 210            | 117        | 0.88      | 1.39                        | 157            |
| 54         | 0.80      | 1.39                        | 173            | 119        | 0.69      | 1.55                        | 224            |
| 59         | 1.35      | 2.63                        | 210            | 121        | 0.78      | 1.26                        | 161            |

جدول ۳. مقایسه بین انواع رسوبات، لایه حداقل اکسیژن، انواع مواد آلی و حداکثر کربن آلی در حوضه خزر جنوبی، بخش شمالی خلیج-فارس، دریای سیاه و دریاچه تانگانیکا. لایه حداقل اکسیژن و حداکثر کربن آلی در حوضه‌های ذکر شده در بخش‌های ژرف آن‌ها قرار گرفته‌اند.

| حوضه رسوبی                          | انواع رسوبات  | لایه حداقل اکسیژن  | انواع مواد آلی   | حداکثر کربن آلی (درصد وزنی)                          |
|-------------------------------------|---|--|--|--|
| بخش شمالی خلیج فارس [۷]             | رسوبات ماسه‌ای، گلی و گراولی با ذرات آواری (کوارتز، فلدسپار، میکا و کانی‌های رسی)، آلی-زیستی (بریوزوا، گاستروپودا، مرجان، اکتینودرم، استراکودا و فرامینیفر-های بنتیک و پلانکتونیک) و ذرات غیر اسکلتی (آئید) | در بخش ژرف خلیج فارس با ژرفای آب بیش از ۵۰ متر                               | در رسوبات بخش‌های کم‌ژرفای خلیج-فارس (ژرفای آب کمتر از ۵۰ متر) نوع III و مخلوط III/II و نوع II در بخش-های ژرف (ژرفای آب بیش از ۵۰ متر) | ۱.۵ درصد وزنی در بخش‌های ژرف (لایه حداقل کسین)       |
| دریای سیاه [۴]                      | شیل‌های سیاه ساپرویلی، گل‌های همگن، مارل‌های حاوی کوکولیت و گل‌های آهکی   | آب‌های سطحی اکسیدان و آب‌های ژرف بیش از ۸۰ متر احیایی و سولفیدی              | نوع II در رسوبات بخش‌های ژرف   | ۲۰ درصد وزنی در لایه‌های ساپرویلی                    |
| دریاچه تانگانیکا درخاور آفریقا [۳۱] | رسوبات گلی تیره و روشن و ماسه‌ای در مناطق کم‌ژرفا و گل‌های تیره در مناطق ژرف  | شرایط احیایی در بخش‌های ژرف دریاچه (ژرفای بیش از ۲۰۰ متر)                    | نوع I و II در رسوبات بخش‌های ژرف   | بیش از ۶ درصد وزنی در بخش‌های ژرف                    |
| حوضه خزر جنوبی (این پژوهش)          | رسوبات گلی و ماسه‌ای با ذرات آواری (خرده‌سنگ‌های کربناته و غیرکربناته، کوارتز، مسکویت و کانی‌های رسی)، ذرات زیستی-آلی (گاستروپودا، دوکف‌های و استراکودا) و ذرات غیر اسکلتی (پلوئید گلی آهکی)                | شرایط فقیر از اکسیژن در بخش‌های ژرف حوضه (دشت حوضه) ژرفای آب بیش از ۷۰۰ متر) | نوع III و II/III در رسوبات سکوی قاره و شیب قاره و نوع II در رسوبات دشت حوضه (لایه حداقل اکسیژن)  | ۲ درصد وزنی در بخش‌های ژرف (ژرفای آب بیش از ۷۰۰ متر) |

- their ancient analogues. Earth- Science Reviews, v. 61, 191-243.
- [4] Arthur, M. A., and Sageman, B. B (2005) Sea-level control on source-rock development: perspectives from the Holocene Black Sea, the mid-Cretaceous Western Interior Basin of North America, and The late Devonian Appalachian Basin. In: Harris, N.B. (Eds.), The deposition of organic carbon rich sediments: models, mechanisms, and consequences. SP. Pub. No. 82 SEPM, Tulsa, pp. 35-59.
- [5] Awosika, L. F., Al-Ghadban, A. N., Ahmad, M. H. & Adegbia, A. F (1993) Assesment of sediment foraminifera and current monitoring data collected during the 100 day ROPME, IOC/NOAA cruise; implications for transport dynamics in the ROPME sea area. – Final report of the scientific workshop on results of the RIV MT. Mitchell cruise in the ROPME sea area, 1: 241-252.
- [6] Baudin, F., Disnar, J. R., Martine, P., and Dennielou, B (2010) Distribution of the organic matter in the channel-Levees systems of the Congo mud-rich deep sea fan (West Africa): implication for deep offshore petroleum source rocks and global carbon cycle. Marine and Petroleum Geology, v. 27, 995-1010.
- [7] Behbahani, R., Hosseinyar, G., Lak, R (2015) The controlling parameters on organic matter preservation within the bottom sediments of the northern part of the Persian Gulf. N. Jb. Geol. Palaont. Abh., v. 276, 267-283.
- [8] Brunet, M. F.; Korotaev, O.; Ershov, A. V.; Nikishin, A. M (2003) The South Caspian Basin: a review of its evolution from subsidence modeling. Sedimentary geology, v. 156, 119-148.
- [9] Creaney, S., and Passey, Q. R (1993) Recurring patterns of total organic carbon and source rock quality within a sequence stratigraphic framework. American Association of Petroleum Geologist Bulletin, v. 77, 386- 401.
- [10] Demaison, G.J., Murris, R.J., and Huizinga, B.J (1984) Petroleum geochemistry and basin evaluation. AAPG Memori 35.
- [11] Folk, R. L (1974) Petrology of sedimentary rocks. Texas (Hemphill publishing company) 182p.
- [12] Gani, M. R (2003) Crisis for a general term referring to all types of sediment gravity flow deposits: gravite: Geological Society of America, Abstracts with programs, v. 34, No. 7, 171 p.
- [13] Goddard, D. A., Mancini, E. A., Talukar, S. C. & Horn, M (1997) Bossier – Hanesvill shale, North Louisian Salt basin. – Lousiana State University, Baton Rouge, Louisiana,
- نتیجه‌گیری**
- نهشته‌های بستر در نواحی کم‌ژرفای خزر جنوبی به ترتیب فراوانی از رسوبات ماسه‌ای، ماسه گلی با کمی گراول، ماسه با کمی گراول، ماسه گلی، ماسه گلی گراولی، گل ماسه‌ای با کمی گراول، گل با کمی گراول، گل و گل ماسه‌ای و در نواحی ژرف از رسوبات گل، سیلت، گل ماسه‌ای و گل با کمی گراول تشکیل شده‌اند. بر اساس شواهد صحرایی و مطالعات لرزه‌نگاری محیط‌های رسوبی دلتا (با رسوبات ماسه‌ای و گلی)، سکوی قاره‌ای (شامل رسوبات ماسه‌ای ناحیه فوقانی بخش نزدیک ساحل و گل-غالب ناحیه تحتانی بخش نزدیک ساحل و بخش فراساحلی)، شیب قاره (نهشته‌های ناشی از جریان‌های خرده‌دار و رسوبات پلاژیک/همی-پلاژیک) و دشت حوضه (شامل رسوبات جریان خرده‌دار و پلاژیک/همی-پلاژیک نزدیک به منشا و رسوبات پلاژیک/همی-پلاژیک دور از منشا) در بخش جنوبی حوضه خزر جنوبی شناسایی گردیدند. با افزایش ژرفای آب (از سکوی قاره به دشت حوضه)، کربن آلی کل،  $S_2$  و مواد آلی نوع II (منشا دریایی) افزایش و مواد آلی نوع III (منشا خشکی‌زی)، ذرات آواری نظیر کوارتز، فلدسپات و پوسته موجودات رسوب‌خوار کفزی کاهش می‌یابد. افزایش کربن آلی کل و مواد آلی نوع II با افزایش ژرفای آب احتمالاً به دلیل کاهش تمرکز اکسیژن محلول (منطقه حداقل اکسیژن)، کاهش سرعت جریان آب‌های ژرف، کاهش زیست‌آشفتگی (کاهش پوسته موجودات کفزی)، شرایط نسبتاً راکد، تهویه ناچیز آب‌های بستر حوضه در اکثر نقاط ژرف (دشت حوضه) نسبت به نقاط کم‌ژرف و دور شدن از منشا مواد آلی خشکی‌زی (قاره‌ای، ماده آلی نوع III) می‌باشد.
- منابع**
- [۱] لاهیجانی، ع. ح (۱۳۸۴) کارگاه آموزشی تاثیر نوسان تراز آب دریای خزر بر اکوسیستم‌های ساحلی، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس، ۴۷ ص.
- [۲] موسوی روحبخش، م (۱۳۸۰) زمین‌شناسی دریای خزر، سازمان زمین‌شناسی کشور، طرح تدوین کتاب زمین‌شناسی ایران، شماره ۸۰، ۲۵۴ ص.
- [3] Al-Sharhan, A. S., and Kendall, C. G. St. C (2003) Holocene coastal carbonates and evaporates of the southern Persian Gulf and

- [24] Morton, A. M., Allen, M., Simmons, F., Spathopoulos, J., Still, D., Hinds, H., Ismalzadeh, A., Kroonenberg, S (2003) Provenance patterns in a neotectonic basin: Pliocene and Quaternary sediment supply to the South Caspian. *Basin research*, v.15, 321-337.
- [25] Nichols, G (2009) *Sedimentology and stratigraphy*, 2<sup>nd</sup> edition, Chichester, UK; Blackwell Science, 432 p.
- [26] Paropkari, A., Prakash, C., and Mascarenhas, A (1993) New evidence for enhanced preservation of organic carbon in content with oxygen minimum zone on the Western continental slope of India. *Marine geology*, v. 111, 7-13.
- [27] Patience, A. J., Lallier-Verges, E., Alberic, P., Desprairies, A. & Tribouvillard, N (1996) Relationships between organo-mineral and early diagenesis in the Lacustrine environment: A study of surficial sediments from the Lac du Bouchet (France).- *Quaternary Science Reviews*, v.15: 213-221.
- [28] Pratima, M., Kessarkar, L., and Purchandra, R (2007) Organic carbon in sediments of the southwestern margin of India: influence of productivity and Monsoon variability during the late Quaternary. *Journal Geological Society of India*, v. 69, 42-52.
- [29] Reynolds, R. M (1993) Physical oceanography of the Gulf, Strait of Hormuz, and the Gulf of the Oman, Results from the Mt Mitchell expedition the 1991 Gulf war: coastal and marine environmental consequences. *Marine Pollution Bulletin*, v. 27: 35-59.
- [30] Sifeddine, A., Gutierrez, L., Ortlieb, L., Boucher, H., Velazco, F., Field, D., Vargas, G., and Boussafir, M (2008) Laminated sediments from the central Peruvian continental slope: A 500 year record of upwelling system productivity, terrestrial run off and redox conditions. *Progress in Oceanography*, v. 79, 190- 197.
- [31] Tsuchida, K., Okui, A., Yamade, Y., Yamazaki, N., and Iwahashi, R (2005) The application of a linked physical ocean circulation-ecosystem model to prediction of organic-carbon sedimentation in lake Tanganyika, East African Rift system. In: Harris, N.B. (Eds.), *The deposition of organic carbon rich sediments: models, mechanisms, and consequences*. SP. Pub. No. 82 SEPM, Tulsa, pp. 243-259.
- [32] Tuzhilkin, V. S., Katunin, D. N., and Nalbandov, Y. R (2005) Natural chemistry of Caspian Sea waters. In: Hutzinger, O., (Eds.), *the handbook of environmental chemistry*, v.5, water pollution, part p, 83-108. center for energy, PDF file, [http:// www. Api. Ning. Com/ files](http://www.Api.Ning.Com/files), 46. Accessed 2 Jun 1997.
- [14] Harris, N.B (2005) The deposition of organic carbon rich sediments: models, mechanisms and consequences- introduction. In: Harris, N.B. (Eds.), *The deposition of organic carbon rich sediments: models, mechanisms, and consequences*. SP. Pub. No. 82 SEPM, Tulsa, pp. 1-5.
- [15] Harris, N.B., Freeman, K.H., Pancost, R.D., Mitchell, G.D., White, T.S., Bate, R.H (2005) Patterns of organic carbon enrichment in a lacustrine source rock in relation to paleo-lake level, Congo Basin, West Africa. In: Harris, N.B. (Eds.), *The deposition of organic carbon rich sediments: models, mechanisms, and consequences*. SP. Pub. No. 82 SEPM, Tulsa, pp. 103-123.
- [16] Hunt, J. M (1995) *Petroleum geochemistry and geology*. Freeman, New York, 743 p.
- [17] Ibach, L.E.J (1982) Relationship between sedimentation rate and total organic carbon content in ancient marine sediments. *AAPG Bulletin*, v. 66, 170- 188.
- [18] Langford, F. F. & Blanc-Valleron, M. M (1990) Interpreting Rock-Eval pyrolysis data using graphs of pyrolyzable hydrocarbons vs. total organic carbon. – *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, v. 74: 799-804.
- [19] Lewis, C. F. M., Mayer, L. A., Mukhopadhyay, P. K., Kruger, M. A., and Coakley, J. P (2000) Multi beam sonar backscatter lineaments and anthropogenic organic components in lacustrine silty clay, evidence of shipping in western lake Ontario. *International Journal of coal Geology*, v. 43, 307-324.
- [20] Leroy, S.A.G., Tudryn, A., Chalieu, F., Merino, L.L., Gasse, F (2013) From the Allerød to the mid-Holocene: palynological evidence from the south basin of the Caspian Sea. *Quaternary Science Reviews*, v.78, 77-97.
- [21] Leroy, S.A.G., Marret, F., Gibert, E., Chalieu, F., Reysse, J.-L., Arpef, K (2007) River inflow and salinity changes in the Caspian Sea during the last 5500 years. *Quaternary Science Reviews*, v. 26, 3359–3383.
- [22] Meyers, P. A (2003) Applications of organic geochemistry to paleolimnological reconstruction: a summary of examples from the Laurentian Great Lakes. – *Organic Geochemistry*, v. 34: 261- 289.
- [23] Meyers, P. A (1997) Organic geochemical proxies of paleoceanographic, paleolimnologic, and paleoclimatic processes. *Organic Geochemistry*, v.27, 213-250.



- [33] Tuzhilkin, V. S., and Kosarev, A. N (2005) Thermohaline structure and general circulation of the Caspian Sea waters. In: Hutzinger, O., (Eds.), the handbook of environmental chemistry, v.5, water pollution, part p, 33-57.
- [34] Tyson, R.V (2001) Sedimentation rate, dilution, preservation and total organic carbon, some results of a modeling study. Organic Geochemistry, v. 32, 333- 339.